



㉔ Unionspriorität: ㉕ ㉖ ㉗  
20.11.92 CH 03559/92

㉘ Anmelder:  
Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique  
S.A., Neuenburg/Neuchâtel, CH

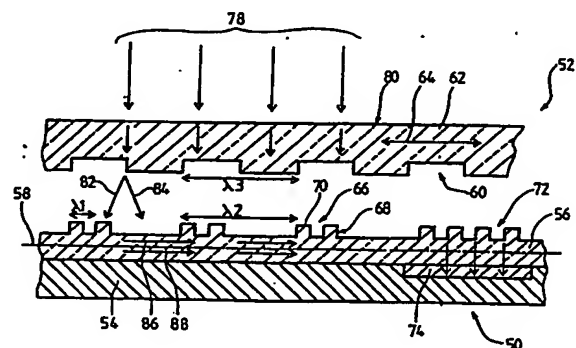
㉙ Vertreter:  
Sparing, K., Dipl.-Ing.; Röhl, W., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat.; Henseler, D., Dipl.-Min. Dr.rer.nat.,  
Pat.-Anwälte, 40237 Düsseldorf

㉚ Erfinder:  
Parriaux, Olivier, Lausanne, CH

Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab

㉛ Vorrichtung mit einem optischen Kopplungsnetz, das sich an der Oberfläche eines ebenen Wellenleiters befindet

㉜ Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung mit einem ebenen Wellenleiter (56), an dessen Oberfläche mindestens ein optisches Kopplungsnetz (66) ausgebildet ist. Dieses optische Kopplungsnetz (66) hat ein Profil (68), das im Querschnitt eine räumliche Welligkeit (70) mit doppelter räumlicher Frequenz aufweist. Die Vorrichtung gemäß der Erfindung findet verschiedene mögliche Anwendungen, insbesondere als Meßsystem für die Position eines Gegenstandes und als refraktometrischer interferentieller Sensor.



## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung mit einem ebenen Wellenleiter, an dessen Oberfläche mindestens ein optisches Kopplungsnetz vorgesehen ist.

Die Erfindung bezieht sich, wenn auch nicht beschränkend, auf Positionsmeßsysteme eines Gegenstandes, auf interferentielle refraktometrische Sensoren mit Austrittsfeld und auf Drucksensoren.

Aus dem Dokument DE 39 28 064 ist eine Meßvorrichtung für die relative Position zweier Gegenstände bekannt. Diese Vorrichtung umfaßt ein bewegliches Lineal mit einem Diffraktionsnetz und eine Leseinheit, umfassend ein Substrat, an dessen Oberfläche ein ebener Wellenleiter ausgebildet ist, welcher in einem bestimmten Bereich seiner Oberfläche ein Netz mit zwei räumlichen Frequenzen aufweist. Im folgenden wird ein Netz mit zwei räumlichen Frequenzen als doppeltfrequentes Netz bezeichnet.

In den Fig. 4c bis 4e dieses Dokuments sind verschiedene Ausführungsformen dargestellt, die für das doppeltfrequente Netz dieser Meßvorrichtung vorgesehen sind. Die Fig. 4c entspricht der physischen Überlagerung von zwei digitalisierten Raumfrequenznetzen, nachfolgend als einfache Netze bezeichnet. Die Fig. 4d und 4e entsprechen den Ergebnissen von zwei Logikfunktionen "UND" bzw. "ODER", angewandt auf zwei einfache digitalisierte Netze, dargestellt in den Fig. 4a und 4b.

Unter einem digitalisierten Netz versteht man im vorliegenden Dokument ein Netz, das ein Profil aufweist, dessen Höhe sich derart ändert, daß es Werte aus einer Gesamtheit von diskreten Werten umfaßt. Das Gleiche gilt für ein digitalisiertes Profil oder eine digitalisierte Welligkeit.

Jede der in dem oben genannten Dokument vorgeschlagenen Lösungen für die Realisierung des doppeltfrequenten Netzes weist den Hauptnachteil auf, daß es technisch schwierig herstellbar ist, weil in jeder dieser Lösungen entweder Vorsprünge oder Senken auftreten, deren Breite deutlich kleiner ist als die räumliche Periode des einen oder anderen der beiden einfachen Netze, welche dazu dienen, daß doppeltfrequente Netz zu bilden. Gegenwärtig kann nur eine Lithographie mit direkter Belichtung durch einen Elektronenstrahl oder durch Röntgenstrahlentransfer möglicherweise die Realisierung solcher doppeltfrequenten Netze ermöglichen, jedoch zu einem hohen Preis.

Darüber hinaus erzeugt die Lösung der Fig. 4c, die der physischen Addition von zwei einfachen Netzen entspricht, ein Profil auf zwei Niveaus, was zu einer noch schwierigeren und teureren Realisierung führt.

Ein Zweck der vorliegenden Erfindung ist es, die Nachteile der vorbeschriebenen Vorrichtung zu beheben.

Die vorliegende Erfindung hat demgemäß zum Gegenstand eine Vorrichtung, umfassend ein Substrat, an dessen Oberfläche ein ebener Wellenleiter ausgebildet ist, der eine Hauptebene definiert, welcher ebene Wellenleiter ein erstes optisches Kopplungsnetz aufweist, welche Vorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, daß das erste Kopplungsnetz ein Profil aufweist gemäß einem Querschnitt dieses ersten Kopplungsnetzes mit einer doppelt raumfrequenten räumlichen Welligkeit, deren Amplitude gleich der Amplitude einer räumlichen Basiswelligkeit ist mit einer ersten räumlichen Frequenz, moduliert mit der Amplitude einer räumlichen Modulationswelligkeit mit einer zweiten räumlichen Frequenz, die kleiner ist als die erste räumliche Frequenz.

Aus diesen Merkmalen ergibt sich ein doppeltfrequentes optisches Kopplungsnetz, das eine Gleichförmigkeit in dem Abstand der Spitzen und Vertiefungen dieses Netzes aufweist, welcher Abstand definiert wird durch die räumliche Frequenz der räumlichen Basiswelligkeit.

Andere Zwecke, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich besser aus der Lektüre der folgenden Beschreibung, die Bezug nimmt auf die beigefügten Zeichnungen, welche als nichtbeschränkende Beispiele zu verstehen sind und in welchen:

- die Fig. 1 eine schematische Darstellung ist, die es ermöglicht, optische Eigenschaften zu beschreiben, denen die Vorrichtung gemäß der Erfindung genügt;
- die Fig. 2 eine schematische Darstellung im Querschnitt einer ersten Ausführungsform eines räumliche doppeltfrequenten Netzes gemäß der Erfindung ist;
- die Fig. 3 und 4 Profile im Querschnitt einer zweiten und einer dritten Ausführungsform eines doppeltfrequenten Netzes gemäß der Erfindung sind wie auch die räumlichen Basiswelligkeiten und die räumlichen Modulationswelligkeiten, die zur Definition dieser Profile dienen;
- die Fig. 5 schematisch im Schnitt eine erste Ausführungsform einer Positionsmeßvorrichtung gemäß der Erfindung darstellt;
- die Fig. 6 im Schnitt schematisch eine zweite Ausführungsform einer Positionsmeßvorrichtung gemäß der Erfindung darstellt;
- die Fig. 7 eine Draufsicht in Richtung 7 aus Fig. 6 auf eine Leseinheit der zweiten Ausführungsform einer Positionsmeßvorrichtung ist;
- die Fig. 8 schematisch einen Separator einer geführten Welle in zwei Raumwellen zeigt;
- die Fig. 9 schematisch eine Ausführungsform eines Sensors gemäß der Erfindung darstellt.

Indem nachstehend auf Fig. 1 Bezug genommen wird, werden kurz die optischen Eigenschaften erläutert, die in der vorliegenden Erfindung ausgenutzt werden.

Die Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ist derart ausgebildet, daß sie in der Lage ist, gleichzeitig eine erste Raumwelle 2 und eine zweite Raumwelle 4 mit einer ersten geführten Welle 8 bzw. einer zweiten geführten Welle 10 zu koppeln, die sich in einem ebenen Wellenleiter 6 ausbreiten. Die erste Raumwelle 2 und die zweite Raumwelle 4 haben eine erste bzw. zweite räumliche Frequenz  $F_2$  bzw.  $F_2$  im Vakuum. Diese ersten und zweiten Raumwellen 2 und 4 breiten sich relativ zu einer Richtung 12 senkrecht auf die Hauptebene des ebenen Wellenleiters 6 unter einem ersten bzw. einem zweiten Auftreffwinkel  $\Theta_1$  bzw.  $\Theta_2$  aus. Die optische Kopplung zwischen den Raumwellen 2 und 4 und den geführten Wellen 8 und 10 wird realisiert durch ein

Doppelraumfrequenznetz 14.

Die erste und die zweite geführte Welle 8 bzw. 10 haben eine dritte bzw. vierte räumliche Frequenz F3 bzw. F4, welche letzteren gleich  $F1 \cdot N1$  bzw.  $F2 \cdot N2$  sind, wobei N1 bzw. N2 der erste bzw. zweite wirksame Refraktionsindex der geführten Wellen 8 und 10 in dem ebenen Wellenleiter 6 ist, während das Zeichen  $\cdot$  in der vorliegenden Beschreibung eine Multiplikation definiert.

Um eine optische Kopplung zu ermöglichen, muß das räumliche Doppelfrequenznetz 14 in seiner Spektralzerlegung mindestens fünfte und sechste räumliche Frequenzen R1 und R2 besitzen, die in dem besonderen und keineswegs beschränkenden Falle, wo die Raumwellen 2 und 4 sich im Vakuum ausbreiten, die folgende Synchronismusbedingung erfüllen:

$$\begin{aligned} F1 \cdot |\sin \Theta 1| + R1 &= F3 = F1 \cdot N1 \\ F2 \cdot |\sin \Theta 2| + R2 &= F4 = F2 \cdot N2 \end{aligned}$$

Da gemäß Definition R1 und R2 gleich  $1/P1$  bzw.  $1/P2$  sind mit P1 bzw. P2 ersten und zweiten räumlichen Perioden, kann die Synchronismusbedingung geschrieben werden:

$$\begin{aligned} 1/P1 &= F1 \cdot [N1 - |\sin \Theta 1|] \\ 1/P2 &= F2 \cdot [N2 - |\sin \Theta 2|] \end{aligned}$$

Man stellt fest, daß jede der vorstehend wiedergegebenen mathematischen Beziehungen in äquivalenter Weise die Kopplung einer Raumwelle mit einer geführten Welle oder umgekehrt einer geführten Welle mit einer Raumwelle beschreibt. Man muß jedoch verstehen, daß die Wellen 8 und 10 sich in einer Richtung entgegengesetzt der in Fig. 6 dargestellten Richtung ausbreiten können und dies unabhängig von dem Vorzeichen der Winkel  $\Theta 1$  bzw.  $\Theta 2$ .

Zwei Fälle sind besonders interessant für die später zu beschreibenden Anwendungen. Im ersten Fall ist vorgesehen, daß  $F1 = F2$  und  $N1 = N2$ , wobei der ebene Wellenleiter 6 vorzugsweise monomodisch ist. Im zweiten Fall ist vorgesehen, daß  $F1 = F2$  und  $\Theta 1 = \Theta 2$ , wobei der ebene Wellenleiter 6 demgemäß multimodisch ist.

Indem nachstehend auf Fig. 2 Bezug genommen wird, soll eine erste Ausführungsform einer Vorrichtung gemäß der Erfindung beschrieben werden, mit deren Hilfe das theoretische Konzept dargestellt wird, das bei der vorliegenden Erfindung ausgenutzt wird.

In dieser Fig. 2 ist im Schnitt eine Vorrichtung dargestellt, umfassend einen ebenen Wellenleiter 6, der auf einem Substrat 18 angeordnet ist, wobei auf der Oberfläche des ebenen Wellenleiters 6 ein optisches Kopplungsnetz 20 vorgesehen ist. Das Profil 22 des Netzes 20 weist eine räumliche Welligkeit 24 auf, deren Amplitude Y mathematisch definiert ist durch die folgende Formel:

$$Y = A \cdot \sin \left[ \frac{R1 + R2}{2} \cdot x \right] \cdot \cos \left[ \frac{R1 - R2}{2} \cdot x \right] \quad (I)$$

Diese räumliche Welligkeit 24 entspricht einer räumlichen Basiswelligkeit vom Sinustyp mit einer ersten räumlichen Frequenz  $(R1 + R2)/2$ , amplitudenmoduliert durch eine räumliche Modulationswelligkeit 26 vom Sinustyp mit einer zweiten räumlichen Frequenz  $(R1 - R2)/2$ . Der Faktor A definiert einen konstanten Wert. Diese räumlichen Basis- und Modulationswelligkeiten definieren erste bzw. zweite räumlichen Perioden  $\lambda 1$  bzw.  $\lambda 2$ .

Man stellt fest, daß die Amplitude Y der räumlichen Welligkeit 24 sich mathematisch in folgender Weise schreiben läßt:

$$Y = (A/2) \cdot [\sin(R1 \cdot x) + \sin(R2 \cdot x)] \quad (II)$$

Demgemäß entspricht die räumliche Welligkeit 24 der mathematischen Überlagerung einer ersten Sinuswelligkeit der räumlichen Frequenz R1 und einer zweiten Sinuswelligkeit der räumlichen Frequenz R2, wobei R1 bzw. R2 die räumlichen Frequenzen des ersten bzw. zweiten einfachen Netzes definieren, welche jeweils das Koppeln einer Raumwelle mit einer geführten Welle und umgekehrt ermöglichen, wie dies vorstehend mit Hilfe der Fig. 1 beschrieben wurde.

Die räumliche Welligkeit 24 weist demgemäß eine Spektralzerlegung auf, bei der nur die beiden räumlichen Frequenzen R1 und R2 mit einer gleichen Amplitude erscheinen.

Man stellt jedoch fest, daß das Profil 22 gegenwärtig technisch schwierig zu realisieren ist. Aus diesem Grunde ist es ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein räumliches Doppelfrequenzkopplungsnetz bereitzustellen, das technisch für einen relativ geringen Herstellungspreis realisierbar ist.

Es ist möglich, eine konventionelle Digitalisierung des Profils 22 des Netzes 20 vorzuschlagen, indem man das Profil 22 beidseits der X-Achse digitalisiert und dabei darauf achtet, daß die Oberfläche jeder resultierenden Senke oder Öffnung identisch ist mit derjenigen der Keule 29 oder 28, welche sie repräsentiert.

Eine solche konventionelle Digitalisierung erzeugt jedoch eine Struktur mit zahlreichen unterschiedlichen Niveaus, was zu relativ hohen Herstellungskosten führt.

Um diese Herstellungskosten merkbar zu reduzieren, ist gemäß der Erfindung vorgesehen, die Basiswelligkeit und die Modulationswelligkeit getrennt zu digitalisieren, welche in der mathematischen Beziehung (I) vorste-

hend erscheinen, danach diese beiden digitalisierten Basis- und Modulationswelligkeiten zu multiplizieren, um eine neue Welligkeit  $Y'$  zu erzeugen, die äquivalent der Welligkeit  $Y$  ist. Dies wird nachstehend mit Hilfe der Fig. 3 und 4 beschrieben.

In der oberen Graphik der Fig. 3 ist eine Modulationswelligkeit 32 dargestellt, die auf drei Niveaus digitalisiert ist. Diese Modulationswelligkeit 32 entspricht der Digitalisierung der Funktion  $1 + \sin(\text{FM} \cdot X)$ , wobei FM gleich  $1/\lambda_2$  ist und  $\lambda_2$  die räumliche Periode dieser Modulationswelligkeit definiert.

In der mittleren Graphik der Fig. 3 ist eine digitalisierte Basiswelligkeit 34 in binärer Form dargestellt, d. h. auf zwei Niveaus. Diese Basiswelligkeit 34 entspricht der Digitalisierung der Funktion  $1 + \sin(\text{FC} \cdot X)$ , wobei FC gleich  $1/\lambda_1$  ist und  $\lambda_1$  die räumliche Periode dieser Basiswelligkeit definiert.

In der unteren Graphik der Fig. 3 ist die doppelte Welligkeit 36 dargestellt, resultierend aus der Multiplikation der Amplitude  $A_2$  der Basiswelligkeit 34 mit der Amplitude  $A_1$  der Modulationswelligkeit 32. Die doppelte Welligkeit 36 entspricht demgemäß einer digitalisierten Version der Welligkeit 24 der Fig. 2. Die digitalisierte doppelte Welligkeit weist demgemäß eine erste räumliche Periode  $\lambda_1$  und eine zweite räumliche Periode  $\lambda_2$  auf. Indem man die folgenden Gleichungen aufstellt:  $1/\lambda_1 = (R_1 + R_2)/2$  und  $1/\lambda_2 = (R_1 - R_2)/2$ , erhält man die beiden räumlichen Frequenzen  $R_1$  und  $R_2$  entsprechend den beiden räumlichen Hauptfrequenzen der doppelte Welligkeit 36 und demgemäß den beiden Hauptkopplungsfrequenzen eines Netzes, dessen Profil eine Welligkeit aufweist ähnlich der doppelte Welligkeit 36.

In der oberen Graphik der Fig. 4 ist eine digitalisierte Modulationswelligkeit 40 in binärer Form dargestellt mit einer räumlichen Periode  $\lambda_2$ . In der mittleren Graphik dieser Fig. 4 ist die bereits unter Bezugnahme auf Fig. 3 beschriebene Basiswelligkeit 34 dargestellt. In der unteren Graphik der Fig. 4 ist eine doppelte Welligkeit 42 dargestellt entsprechend der Multiplikation der Amplituden  $A_1$  und  $A_2$  der Welligkeiten 40 und 34. Man stellt fest, daß die doppelte Welligkeit 42 eine binäre Digitalisierung aufweist mit einer Gruppe von Blöcken 44, identisch zueinander und jeweils mit einer Breite gleich  $\lambda_1/2$ .

Als Beispiel ist die räumliche Periode  $\lambda_1 = \mu\text{m}$  und die räumliche Periode  $\lambda_2 = 4 \mu\text{m}$ . Was die Amplitude  $Y'$  der doppelte Welligkeit 42 angeht, so ist die Höhe der Blöcke 44 etwa  $0,1 \mu\text{m}$ .

Man stellt fest, daß in dem Falle, wo  $\lambda_2$  nicht ein geradzahliges Vielfaches von  $\lambda_1$  ist, es möglich ist, einen Algorithmus vorzusehen, der dazu dient, zu bestimmen, ob ein Basiswelligkeitsblock, abgeschnitten durch die Modulationswelligkeit, in der resultierenden doppelte Welligkeit in seiner Gesamtheit beibehalten wird oder vollständig unterdrückt wird während der Herstellung des Netzes. Demgemäß weist, unabhängig davon, welches die räumlichen Perioden  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  sind, das hergestellte Netz eine Gruppe von Blöcken gleicher Breite auf.

Indem nachstehend auf Fig. 5 Bezug genommen wird, wird eine erste Ausführungsform einer Positionsmeßvorrichtung beschrieben, die es ermöglicht, Relativverlagerungen zwischen zwei Objekten zu messen, beispielsweise zwischen einem Bearbeitungskopf und einem Rahmen, der diesen Bearbeitungskopf abstützt.

Diese Positionsmeßvorrichtung umfaßt eine Leseinheit 50 und eine Diffraktionseinheit 52. Die Leseinheit 50 wird von einem Substrat 54 gebildet und einem ebenen Wellenleiter 56, der sich in einer Hauptebene 58 erstreckt. Die Diffraktionseinheit 52 umfaßt ein Diffraktionsnetz 60, gebildet auf der Oberfläche eines Lineals 62. Man stellt fest, daß das Diffraktionsnetz 60 sich in einer Ebene parallel zur Hauptebene 58 erstreckt, wobei die Diffraktionseinheit 52 verlagerbar ist in einer Richtung 64 quer zum Diffraktionsnetz 60.

Der ebene Wellenleiter 56 umfaßt auf seiner Oberfläche ein erstes optisches Kopplungsnetz 66, welches Netz 66 ein Profil 68 aufweist mit einer doppelte Welligkeit 70. Diese doppelte Welligkeit 70 ist ähnlich der einen oder anderen der doppelte Welligkeiten, die in Fig. 3 und 4 gemäß der Erfindung dargestellt sind.

Die Leseinheit 50 umfaßt ferner ein zweites Kopplungsnetz 72 mit einer einzigen räumlichen Frequenz, ausgebildet an der Oberfläche des ebenen Wellenleiters 56, und einen integrierten Detektor 74, der es ermöglicht, die relative Intensität des Lichtes zu messen, das sich in dem ebenen Wellenleiter 56 ausbreitet. In dieser Ausführungsform ist das Substrat 54 aus Silicium gebildet.

Für die Funktion wird der Vorrichtung nach Fig. 5 eine Quelle kohärenten Lichtes (nicht dargestellt) zugeordnet, die ein kohärentes Lichtstrahlbündel 78 liefert, das durch Pfeile angedeutet ist und das mit einem normalen Auftreffwinkel relativ zur Hauptebene 58 auf die Seite 80 des Lineals 62 auftrifft. Danach dringt das Bündel 78 des kohärenten Lichtes in das Lineal 62 ein, das für die Wellenlänge dieses kohärenten Lichtes transparent ist. Beim Ankommen am Diffraktionsnetz 60 wird das auftreffende Bündel 78 in mindestens einer ersten und einer zweiten Beugerrichtung 82 und 84 gebeugt.

Im vorliegenden Falle entsprechen die Beugerrichtungen 82 und 84 den Diffraktionsordnungen  $N = 1$  bzw.  $N = -1$ , wobei  $N$  die Diffraktionsordnung des auftreffenden Bündels 78 definiert. Das von dem Diffraktionsnetz 60 gebeugte Licht bildet erste und zweite Raumwellen, die sich in Richtung des ebenen Wellenleiters 56 ausbreiten mit ersten bzw. zweiten Ausbreitungsrichtungen 82 und 84. Beim Auftreffen auf das erste Kopplungsnetz 66 werden die erste und die zweite Raumwelle von dem Kopplungsnetz mit ersten bzw. zweiten geführten Wellen 86 bzw. 88 gekoppelt, die sich in gleichem Ausbreitungsmodus in dem ebenen Wellenleiter 56 ausbreiten.

Demgemäß sind die erste und die zweite geführte Welle 86 bzw. 88 in der Lage, miteinander in dem ebenen Wellenleiter 56 zu interferieren, wobei die Intensität des sich in dem ebenen Wellenleiter ausbreitenden Lichtes eine Funktion des Phasenversatzes zwischen dieser ersten und zweiten geführten Welle 86 bzw. 88 ist. Dieser Phasenversatz ändert sich, wenn die Lichtquelle eine feste Position relativ zur Leseinheit 50 besitzt, linear mit der Verlagerung der Diffraktionseinheit 62 in der Richtung 64, so daß es möglich ist, die Relativverlagerung zwischen der Diffraktionseinheit 52 und dieser Leseinheit 50 zu messen. Dies ermöglicht die Definition der Relativposition der Diffraktionseinheit 52 relativ zur Leseinheit 50. Hierfür mißt der Detektor 74, indem er das von dem zweiten Kopplungsnetz 72 gebeugte Licht auffängt, die relative Intensität des Lichtes, das sich in dem ebenen Wellenleiter 56 ausbreitet.

Um die Synchronismusbedingung für die optische Kopplung durch das Kopplungsnetz 66 der beiden Raumwellen, die sich in den Beugerichtungen 82 und 84 ausbreiten, mit den geführten Wellen 86 und 88, die sich in ein- und demselben Ausbreitungsmodus in dem ebenen Wellenleiter 56 ausbreiten, einzuhalten, ist es erforderlich, daß die räumliche Periode  $\lambda_3$  des Diffraktionsnetzes 60 gleich ist der räumlichen Periode  $\lambda_2$  der Modulation der Doppelwelligkeit 70, definiert durch das Profil 68 des ersten Kopplungsnetzes 6.

Man stellt fest, daß die mit Hilfe der Fig. 5 beschriebene Vorrichtung dazu dient, geradlinige Verlagerungen zu messen. Demgemäß weisen das erste Kopplungsnetz 66 und des Diffraktionsnetz 60 gerade Abwicklungen auf und sind mindestens teilweise einander überlagert, relativ zu einer Projektion in die Hauptebene 58 des ebenen Wellenleiters 56.

Bei einer anderen Ausführungsform einer solchen Vorrichtung (nicht dargestellt) jedoch ist es möglich, Winkelverlagerungen zu messen. In diesem Falle weist das von der Diffraktionseinheit ausgehende Diffraktionsnetz eine runde Abwicklung auf, und die räumliche Frequenz dieses Diffraktionsnetzes entspricht einer Winkelraumfrequenz. In ähnlicher Weise ist es möglich, für das erste Kopplungsnetz, dessen Profil eine Doppelfrequenzwelligkeit aufweist, eine runde Abwicklung vorzusehen. Erneut definieren die räumlichen Frequenzen der Basiswelligkeit und der Modulationswelligkeit winkelmäßige Raumfrequenzen.

Indem nachstehend auf Fig. 6 und 7 Bezug genommen wird, wird eine zweite Ausführungsform einer Vorrichtung zum Messen der Position gemäß der Erfindung beschrieben.

In den Fig. 6 und 7 werden die bereits bei der ersten Ausführungsform einer Vorrichtung zum Positionsmessen, dargestellt in Fig. 5, beschriebenen Bezugszeichen nicht erneut im einzelnen hier kommentiert.

Die Vorrichtung der Fig. 6 umfaßt eine Leseinheit 50 und eine Diffraktionseinheit 52. Der ebene Wellenleiter 56 der Leseinheit 50 umfaßt an seiner Oberfläche ein erstes Kopplungsnetz 90 mit einem Profil 92, das eine Doppelfrequenzwelligkeit 94 aufweist. Man erkennt, daß das erste Kopplungsnetz 90 ein Netz bildet, komplementär zum ersten Kopplungsnetz 66 der Fig. 5. Die Amplitude der Doppelfrequenzwelligkeit 94 nimmt nämlich hier inverse Werte an, relativ zu der Amplitude der Doppelfrequenzwelligkeit 70 des ersten Kopplungsnetzes 66 aus Fig. 5. Eine der Ausführungsformen und die komplementäre Ausführungsform bilden mögliche Varianten. Eine andere Variante besteht darin, das Netz 92 nicht auf der Außenfläche des Wellenleiters 56 auszubilden, sondern auf der dem Substrat zugekehrten Seite.

Die Vorrichtung umfaßt außerdem ein zweites Kopplungsnetz 96, das ebenfalls ein Netz komplementär zu dem zweiten Kopplungsnetz 72 der Fig. 5 bildet. Die optischen Eigenschaften der Kopplungsnetze 90 und 96 sind jeweils äquivalent den optischen Eigenschaften der Kopplungsnetze 66 bzw. 72, beschrieben in Fig. 5.

Die Vorrichtung der Fig. 6 unterscheidet sich von der unter Fig. 5 beschriebenen Vorrichtung dadurch, daß die Quelle kohärenten Lichtes (nicht dargestellt) sich relativ zum Substrat 54 der Leseinheit 50 auf der anderen Seite des ebenen Wellenleiters 56 befindet. Wenn das auftreffende Lichtbündel 98 sich in Richtung der Oberfläche 100 des Substrats 94 mit einer bestimmten Divergenz (wie dargestellt) ausbreitet, ist es erforderlich, eine Kollimierung vorzusehen.

Um das auftreffende Bündel 98 zu kollimieren, ist eine Linse 102 auf der Oberfläche 100 des Substrats 54 angeordnet. Diese Linse 102 ist beispielsweise als Fresnel-Linse ausgebildet.

Das auftreffende Lichtbündel 98 nach Kollimierung breitet sich danach quer zum Substrat 54 aus, das transparent ist für die Wellenlänge des kohärenten Lichtes, das das auftreffende Bündel 98 bildet. Nach Durchlauf des Substrats 54 durchsetzt das auftreffende Lichtbündel auch den ebenen Wellenleiter 56 in einer Richtung senkrecht zur Hauptebene 58 dieses ebenen Wellenleiters. Das für das Substrat 54 und den ebenen Wellenleiter 56 verwendete Material wie auch die Wellenlänge des kohärenten Lichtes des auftreffenden Bündels 98 sind so gewählt, daß die Majorität der Intensität des auftreffenden Bündels die Gesamtheit der Leseinheit 50 durchsetzt, ohne gebeugt oder reflektiert zu werden. Auf diese Weise trifft der Hauptteil des Lichtes des auftreffenden Bündels 98 mit einem senkrechten Auftreffen auf die Hauptebene, in der sich das Diffraktionsnetz 60 erstreckt, ein, welche Hauptebene parallel zur Hauptebene 58 ist.

Das Diffraktionsnetz 60 besitzt eine reflektierende Oberfläche 106 für das kohärente Licht des auftreffenden Bündels 98. Demgemäß wird das Licht reflektiert und gebeugt in mindestens zwei Beugerichtungen 82 und 84, welche Richtungen identisch sind mit jenen, die bei Fig. 5 beschrieben wurden.

Das erste Kopplungsnetz 90 hat optische Eigenschaften identisch mit dem ersten Kopplungsnetz der Fig. 5, wobei die Raumwellen sich in den beiden Beugerichtungen 82 und 84 ausbreiten und gekoppelt sind mit ersten und zweiten geführten Wellen 86 und 88, die sich in dem ebenen Wellenleiter in ein- und demselben Ausbreitungsmodus ausbreiten. Diese geführten Wellen 86 und 88 interferieren demgemäß miteinander, und das zweite Kopplungsnetz 96 erzeugt erneut eine Ausgangsraumwelle 108, deren Intensität durch einen Detektor 110 erfaßt wird, der sich an der Oberfläche 100 des Substrats 54 befindet.

In Fig. 7 ist eine Draufsicht von oben auf die Leseinheit 50 dargestellt. Diese Fig. 7 zeigt demgemäß den ebenen Wellenleiter 56, an dessen Oberfläche sich das erste Kopplungsnetz 90 und das zweite Kopplungsnetz 96 befinden. Danach ist ein drittes Kopplungsnetz 114 vorgesehen, identisch mit dem Kopplungsnetz 90, jedoch relativ zu diesem um einen Wert phasenverschoben, der gleich  $\lambda/4$  ist. Ferner sind Kopplungsnetze 116, 117 und 118 vorgesehen, identisch mit dem Kopplungsnetz 96. Diese besondere Ausgestaltung mit zwei Kopplungsnetzen 90 und 114, deren Profil eine doppeltfrequente Welligkeit aufweist, ermöglicht nicht nur die Messung in Absolutwerten der Relativverlagerung zwischen der Leseinheit 50 und der Diffraktionseinheit 52, sondern auch zu bestimmen, in welche Richtung diese Relativverlagerung erfolgt.

Man erkennt, daß die Kopplungsnetze 117 und 118 nicht unbedingt erforderlich sind. Sie ermöglichen jedoch, die Hälfte der Lichtintensität aufzufangen, die sich in dem ebenen Wellenleiter 56 ausbreitet, wenn das Auftreffen senkrecht erfolgt. Darüber hinaus ermöglicht dies, das Resultat der Erkennung jedes dieser Ausgangskopplungsnetze 96, 116, 117, 118 zu verarbeiten, denen Detektoren ähnlich dem Detektor 110 zugeordnet sind, derart, daß dieses Resultat relativ unabhängig wird von den Veränderungen der Lichtintensität der Quelle kohärenten

Lichtes.

In einer Variante der vorliegenden Ausführungsform ist es möglich, drei oder vier Netze vorzusehen mit einem Profil, das eine doppeltfrequente Welligkeit aufweist, wobei diese Netze parallel nebeneinander angeordnet sind und eine Phasenverschiebung zueinander aufweisen, die  $\lambda/(2 \cdot X)$  beträgt, wobei X gleich der Anzahl dieser Netze ist. Das Licht, das von jedem dieser Netze gekoppelt wird, wird getrennt erfaßt.

Die in Fig. 8 dargestellte Vorrichtung umfaßt ein Substrat 120, an dessen Oberfläche sich ein ebener Wellenleiter 122 befindet, der auf seiner Oberfläche ein Kopplungsnetz 124 aufweist, dessen Profil 126 eine doppeltfrequente Welligkeit 128 gemäß der Erfindung hat. Diese Vorrichtung dient als Separator einer geführten Welle 130 in zwei Raumwellen 132 und 133, die sich entsprechend unterschiedlichen Ausbreitungsrichtungen 134 bzw. 135 ausbreiten.

Unter Bezugnahme auf Fig. 9 wird eine Anwendung der Erfindung bei einer Vorrichtung gemäß der Erfindung beschrieben.

In dieser Fig. 9 umfaßt die Vorrichtung ein Substrat 140, auf dem ein ebener Wellenleiter 142 ausgebildet ist, an dessen Oberfläche ein erstes doppeltfrequentes Kopplungsnetz 144 gemäß der Erfindung vorgesehen ist.

Eine Raumwelle 146 trifft auf das Netz 144 mit einer Auftreffrichtung 148. Die Raumfrequenzen der Basiswelligkeit und der Modulationswelligkeit des Kopplungsnetzes 144 sind so definiert, daß die Raumwelle 146, indem sie sich längs der Auftreffrichtung 148 ausbreitet, mit ersten und zweiten geführten Wellen 150 und 152 gekoppelt wird, die sich jeweils in dem Wellenleiter 142 gemäß einem ersten und einem zweiten unterschiedlichen Ausbreitungsmodus ausbreiten. Dieser erste und zweite Ausbreitungsmodus sind vorzugsweise senkrecht in dem Raum der Ausbreitungsmoden des ebenen Wellenleiters 142. Man stellt hier fest, daß der ebene Wellenleiter 142 ein Multimoduswellenleiter ist.

In bevorzugter Weise weist die auftreffende Raumwelle 146 eine vorbestimmte Polarisation auf. In einem ersten Falle entsprechen die beiden Ausbreitungsmoden in dem Wellenleiter den beiden Moden  $TE_0$  bzw.  $TE_1$ . In einem zweiten Falle entsprechen die beiden Ausbreitungsmoden den beiden Moden  $TE_0$  und  $TM_0$ . Bei anderen Anwendungen können die beiden geführten Moden der Grundmodus in zwei unterschiedlichen Richtungen sein.

Auf einer Region der Oberfläche 154 des ebenen Wellenleiters 142 ist eine zu analysierende Substanz 156 angeordnet, insbesondere eine Flüssigkeit. Die Vorrichtung ist so ausgebildet, daß mindestens ein Teil der geführten Wellen 150 und 152 sich unter der Substanz 156 ausbreiten. Jede der geführten Wellen 150 und 152 weist ein austretendes Feld auf, das in die Substanz 156 eindringt. Da das Austrittsfeld jeder der geführten Wellen 150 und 152 eine unterschiedliche Distribution aufweist, ergibt sich, daß die geführten Wellen 150 und 152 in unterschiedlicher Weise das Vorhandensein der Substanz 156 auf der Oberfläche 154 des ebenen Wellenleiters 142 erfüllen, in welchem sie sich ausbreiten. Aus diesem Grunde wird eine Phasenverschiebung zwischen den beiden geführten Wellen 150 und 152 eingeführt.

Nach Durchlauf der Region, wo sich die Substanz 156 befindet, werden die beiden geführten Wellen 150 und 152 mit zwei Ausgangsraumwellen 158 und 160 gekoppelt durch ein zweites doppeltfrequentes Kopplungsnetz 162 entsprechend der Erfindung. Die Raumfrequenzen der Basiswelligkeit und der Modulationswelligkeit erzeugen die doppeltfrequente Welligkeit, definiert durch das Profil dieses zweiten Kopplungsnetzes 162, und sie sind derart definiert, daß die beiden geführten Wellen 150 und 152 mit zwei Raumwellen 158 und 160 gekoppelt sind, die sich in derselben Richtung ausbreiten. Demgemäß überlagern die Wellen 158 und 160 einander und sind der Lage, miteinander zu interferieren.

Ein Detektor 166 ist an der Oberfläche des transparenten Substrats derart angeordnet, daß er den größeren Teil der Intensität der resultierenden Welle der Überlagerung der beiden Raumwellen 158 und 160 auffängt. Diese Intensität ist eine Funktion der Phasenverschiebung zwischen den beiden Raumwellen 158 und 160, welche abhängt von der Substanz 156, so daß es möglich ist, die optischen Eigenschaften dieser Substanz 156 zu definieren, insbesondere Veränderungen des Brechungsindex der Partie dieser Substanz 156, die sich direkt auf der Oberfläche 154 des ebenen Wellenleiters 142 befindet.

Die unter Fig. 9 beschriebene Vorrichtung bildet einen interferentiellen refraktometrischen Sensor mit elektromagnetischem Austrittsfeld.

Um eine gute Genauigkeit bei der ausgeführten Messung zu ermöglichen, ist es möglich, im Falle der im Schnitt in Fig. 9 dargestellten Vorrichtung vorzusehen, daß nur ein Teil der beiden Wellenleiter 150 und 152 den Bereich durchsetzt, wo sich die zu analysierende Substanz 156 befindet. Diese Partie des nicht von der Substanz 156 beeinflussten Lichtes wird dann getrennt von einem zweiten (nicht dargestellten) Detektor erfaßt. Durch Vergleich der Meßresultate der Lichtintensität bei dem ersten Detektor 166 und bei dem zweiten Detektor ist es möglich, alle Störungen zu eliminieren, die herrühren von unterschiedlichen Elementen der zu analysierenden Substanz 156. Ein solcher Sensor stellt demgemäß eine große Empfindlichkeit bei den ausgeführten Messungen sicher.

Eine erste spezifische Anwendung bezieht sich auf die Messung des Brechungsindex eines homogenen Fluids variabler Konzentration. Bei einer zweiten spezifischen Anwendung wird die Substanz 156 von einem Lösungsmittel gebildet, das Moleküle in Suspension umfaßt und Rezeptoren, die in der Lage sind, sich mit diesen in Suspension befindlichen Molekülen zu verbinden. In dem Fall, wo eine bestimmte Konzentration der Rezeptoren sich direkt an der Oberfläche 154 des ebenen Wellenleiters 142 befindet, wird sich der Brechungsindex in diesem Oberflächenbereich in Abhängigkeit von der Anzahl der von den Rezeptoren eingefangenen Moleküle ändern und unterschiedlich erkannt von dem Austrittsfeld jeder der beiden geführten Wellen.

In einem anderen Anwendungsfall kann eine Vorrichtung gemäß der Erfindung ähnlich der unter Fig. 9 beschriebenen verwendet werden als Kraftsensor. Je nach dem Druck, der auf die Oberfläche 154 des ebenen Wellenleiters 142 ausgeübt wird, ändert sich der wirksame Brechungsindex, auf den jede der geführten Wellen 150 und 152 trifft, in unterschiedlichem Maße. Erneut erzeugt diese unterschiedliche Variation des effektiven Brechungsindex des ebenen Wellenleiters für jede der geführten Wellen 150 und 152 eine Phasenverschiebung,



die erfaßt wird durch den Detektor 166, nachdem die geführten Wellen 150 und 152 mit den Ausgangsraumwellen 158 und 160 gekoppelt worden sind über das Kopplungsnetz 162, wie dies bei Fig. 9 beschrieben worden ist.

Gemäß einem noch weiteren Anwendungsfall kann die Vorrichtung gemäß der Erfindung benutzt werden, um in einem runden Leiter zwei Wellen unterschiedlichen Polarisationsmodus zu erzeugen. Wenn der runde Leiter um einen elektrischen Strom führenden Leiter plaziert wird, ist es demgemäß möglich, die Höhe dieses Stromes zu messen, indem man den Faraday-Effekt auf die geführten Wellen mißt.

Es ist noch festzuhalten, daß in dem Falle, wo eine der beiden geführten Wellen 150 oder 152 sich gemäß einem TM-Modus ausbreitet und die andere dieser beiden geführten Wellen sich gemäß einem TE-Modus ausbreitet, es erforderlich ist, einen Polarisator stromauf des Detektors 166 vorzusehen, um eine Interferenz zwischen den Raumwellen 158 und 160 zu ermöglichen.

Schließlich ist festzuhalten, daß eine Vorrichtung gemäß der Erfindung auch in der nichtlinearen Optik einsetzbar ist. Bei einem solchen Anwendungsfall weist der Wellenleiter nichtlineare Eigenschaften auf, die es ermöglichen, Lichtwellen zu koppeln zum Erzeugen von Wellen mit optisch unterschiedlicher Frequenz. In dem Fall, wo die anfänglich geführten Wellen ein- und dieselbe Frequenz haben, können in dem Wellenleiter Wellen mit einer zweimal höheren Frequenz als die Anfangsfrequenz erzeugt werden.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung, umfassend ein Substrat (18; 54; 120; 140), an dessen Oberfläche ein ebener Wellenleiter (6; 56; 122; 142) ausgebildet ist, der eine Hauptebene (58) definiert, welcher ebene Wellenleiter ein erstes optisches Kopplungsnetz (20; 66; 90; 124; 144) aufweist, welche Vorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, daß das erste Kopplungsnetz ein Profil (22; 68; 92; 126) aufweist gemäß einem Querschnitt dieses ersten Kopplungsnetzes mit einer doppelt raumfrequenten räumlichen Welligkeit (24; 36; 42; 70; 94; 128), deren Amplitude ( $y$ ;  $y'$ ) gleich der Amplitude ( $A_2$ ) einer räumlichen Basiswelligkeit (34) ist mit einer ersten räumlichen Frequenz, moduliert mit der Amplitude ( $A_1$ ) einer räumlichen Modulationswelligkeit (32, 40) mit einer zweiten räumlichen Frequenz, die kleiner ist als die erste räumliche Frequenz.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste räumliche Frequenz ein ganzes geradzahliges Vielfaches der ersten räumlichen Frequenz ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Basiswelligkeit (34) die Form einer ersten regelmäßigen Verzahnung besitzt, die räumliche Modulationswelligkeit (32; 40) eine Amplitude ( $A_1$ ) aufweist, die derart digitalisiert ist, daß die doppelt raumfrequente räumliche Welligkeit (36; 42; 66; 90; 124; 144) von einer Gruppe von Blöcken (44) gebildet wird, die jeweils im wesentlichen gleiche Breite besitzen.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Modulationswelligkeit (32; 40) eine Welle vom digitalisierten Sinustyp definiert.
5. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Modulationswelligkeit (40) ein zweites gleichförmiges Verzahnungssystem definiert.
6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, zur Messung von Positionen dienend, wobei die Vorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, daß sie eine Diffraktionseinheit (52) umfaßt, die in einer Ebene im wesentlichen parallel zur Hauptebene (58) des ebenen Wellenleiters (56) verlagerbar ist, welche Diffraktionseinheit ein Diffraktionsnetz (60) umfaßt, das in der Lage ist, ein auftreffendes Bündel kohärenten Lichtes mit einer vorbestimmten Auftreffrichtung und einer vorbestimmten räumlichen Frequenz in mindestens einer ersten und einer zweiten Beugerichtung (82; 84) zu beugen, welche ersten und zweiten räumlichen Frequenzen des ersten Kopplungsnetzes (66; 90) derart definiert sind, daß die beiden sich längs der ersten und zweiten Ausbreitungsrichtung ausbreitenden Raumwellen simultan durch das erste Kopplungsnetz mit je einer von zwei geführten Wellen (86; 88) gekoppelt werden, welche sich nach einem ersten Ausbreitungsmodus in dem ebenen Wellenleiter ausbreiten, welche Vorrichtung ein System zum Erfassen (74; 110) der relativen Intensität des Lichtes umfaßt, das sich in dem ebenen Wellenleiter ausbreiten kann.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Diffraktionsnetz (60) eine dritte räumliche Frequenz hat, deren Wert im wesentlichen gleich dem der zweiten räumlichen Frequenz ist, wobei die Auftreffrichtung des auftreffenden Lichtbündels (78; 98) im wesentlichen senkrecht zu der Hauptebene (58) des ebenen Wellenleiters (56) ist, wobei die erste und zweite Beugerichtung (82; 84) den Diffraktionsordnungen 1 bzw. -1 entsprechen.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß sie zur Messung von geraden Verlagerungen ausgebildet ist, wobei das erste Kopplungsnetz (66; 90) und das Diffraktionsnetz (60) eine geradlinige Abwicklung besitzen und mindestens teilweise zueinander überlagert sind relativ zu einer Projektion in die Hauptebene (58) des ebenen Wellenleiters (56).
9. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß sie für die Messung von Winkelverlagerungen ausgebildet ist, wobei das erste Kopplungsnetz und das Diffraktionsnetz runde Abwicklungen haben und mindestens teilweise zueinander überlagert sind relativ zu einer Projektion in die Hauptebene des Wellenleiters, wobei die erste, die zweite und die dritte räumliche Frequenz Winkelraumfrequenzen definieren.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Diffraktionseinheit (52) für das auftreffende Lichtbündel (78) transparent ist, welches letztere von einer Lichtquelle kommt, die relativ zu der Diffraktionseinheit auf der dem ebenen Wellenleiter (56) abgewandten Seite angeordnet ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (54) für das auftreffende Lichtbündel (98) transparent ist, welches letztere von einer Lichtquelle kommt, die relativ zu dem Substrat auf der dem ebenen Wellenleiter (56) abgewandten Seite angeordnet ist, wobei das Diffrak-

tionsnetz (60) eine reflektierende Oberfläche (106) für das auftreffende Lichtbündel aufweist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß ein optisches Kollimationselement (102) auf einer Oberfläche (100) des Substrats (54) auf der dem ebenen Wellenleiter abgewandten Seite relativ zu diesem Substrat angeordnet ist, welches Kollimationselement dazu dient, das auftreffende Lichtbündel (98) zu kollimieren.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Kopplungsnetz (72; 96) auf der Seite des ebenen Wellenleiters (56) vorgesehen ist, welches zweite Netz ein Profil besitzt, das eine Welligkeit mit Raumfrequenz aufweist, und welches dazu dient, die geführten Wellen (86; 88), die sich in dem ebenen Wellenleiter gemäß dem Ausbreitungsmodus ausbreiten, mit einer der Austrittsraumwellen (108) zu koppeln, die sich in einer vorbestimmten Austrittsrichtung derart ausbreiten, daß diese Ausgangsraumwelle auf das Erkennungssystem (74; 110) trifft.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Erkennungssystem (74) in das Substrat integriert ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten und zweiten Raumfrequenzen des ersten Kopplungsnetzes (144) derart definiert sind, daß eine erste Raumwelle (146), die sich gemäß einer ersten Ausbreitungsrichtung (148) ausbreitet, gekoppelt wird mit zwei geführten Wellen (150; 152), die sich gemäß zwei unterschiedlichen Ausbreitungsmoden in dem ebenen Wellenleiter (142) ausbreiten, wobei die Vorrichtung ein zweites Kopplungsnetz (162) umfaßt, dessen Profil ebenfalls eine doppelfrequente Raumwelligkeit (36; 42) derart besitzt, daß das zweite Kopplungsnetz in der Lage ist, die beiden geführten Wellen (150; 152), die sich gemäß den beiden Ausbreitungsmoden in dem ebenen Wellenleiter ausbreiten, mit der ersten bzw. zweiten Austrittsraumwelle (158; 160) zu koppeln, die sich in ein- und derselben Ausgangsrichtung ausbreiten, wobei die Vorrichtung ein Erkennungssystem (166) für die Intensität des Lichtes umfaßt, das sich in dieser Ausgangsrichtung ausbreitet.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Ausbreitungsmoden in dem ebenen Wellenleiter (142) orthogonal sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß sie als refraktometrischer interferentieller Austrittsfeldsensor ausgebildet ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß sie als Drucksensor ausgebildet ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß sie als Stromsensor ausgebildet ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß sie als Separator einer geführten Welle (130) in zwei Raumwellen (132; 133) ausgebildet ist, die sich gemäß zwei unterschiedlichen Ausbreitungsrichtungen (134; 135) ausbreiten.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---



\*

Fig.5

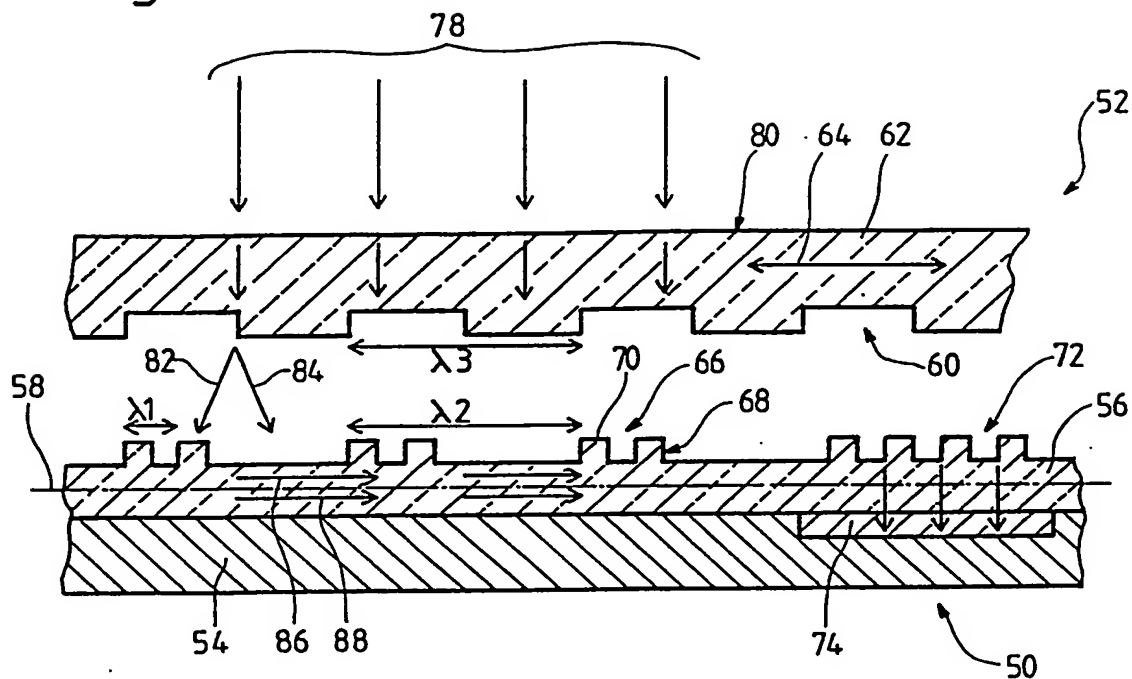


Fig.6

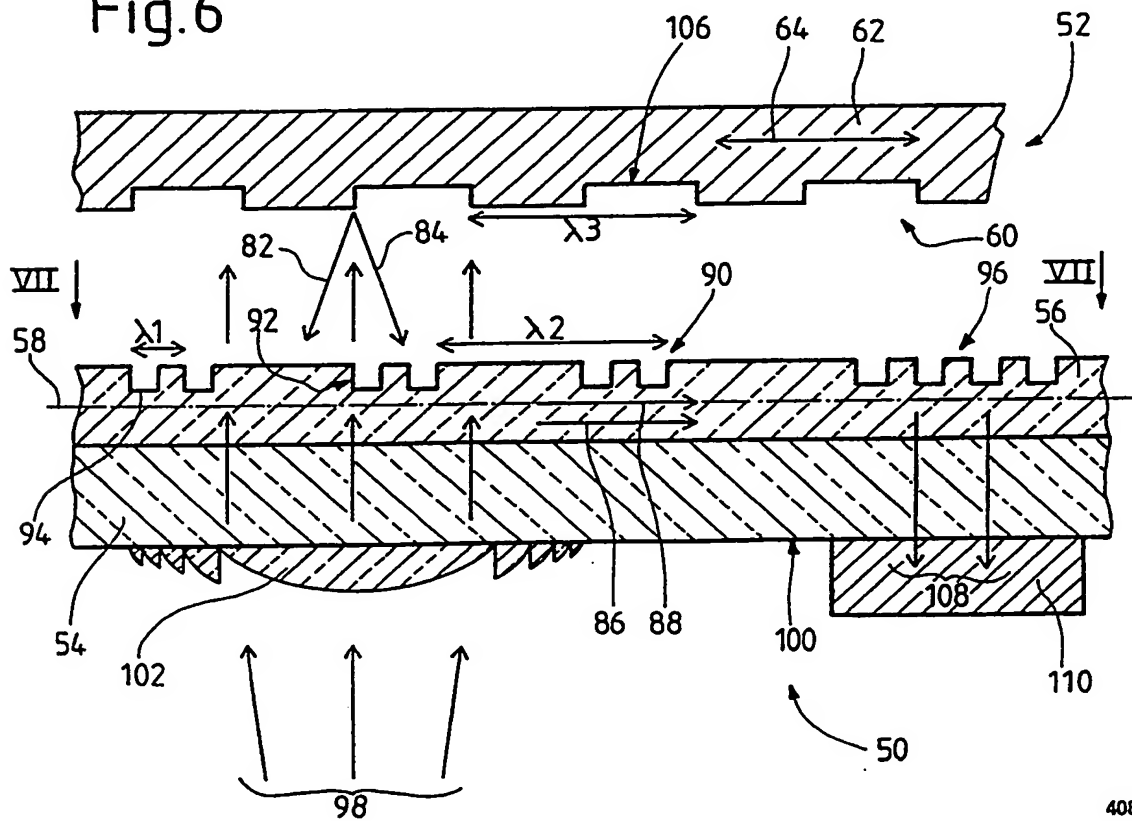


Fig. 1

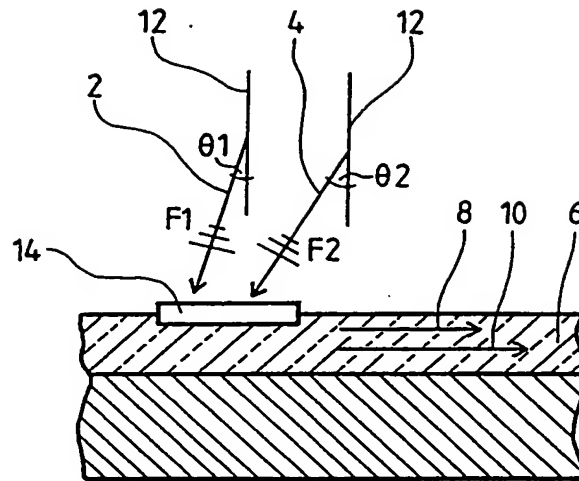


Fig. 2

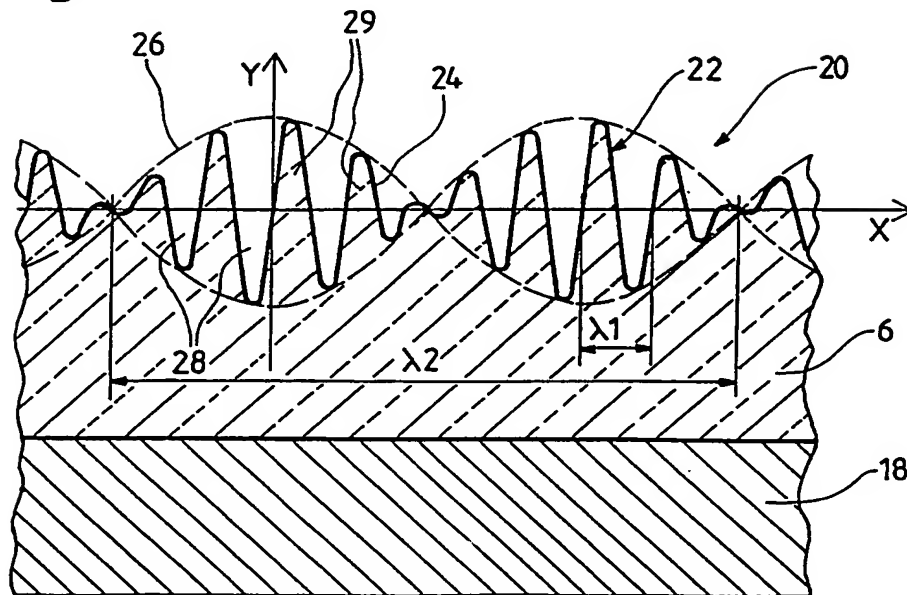


Fig.3

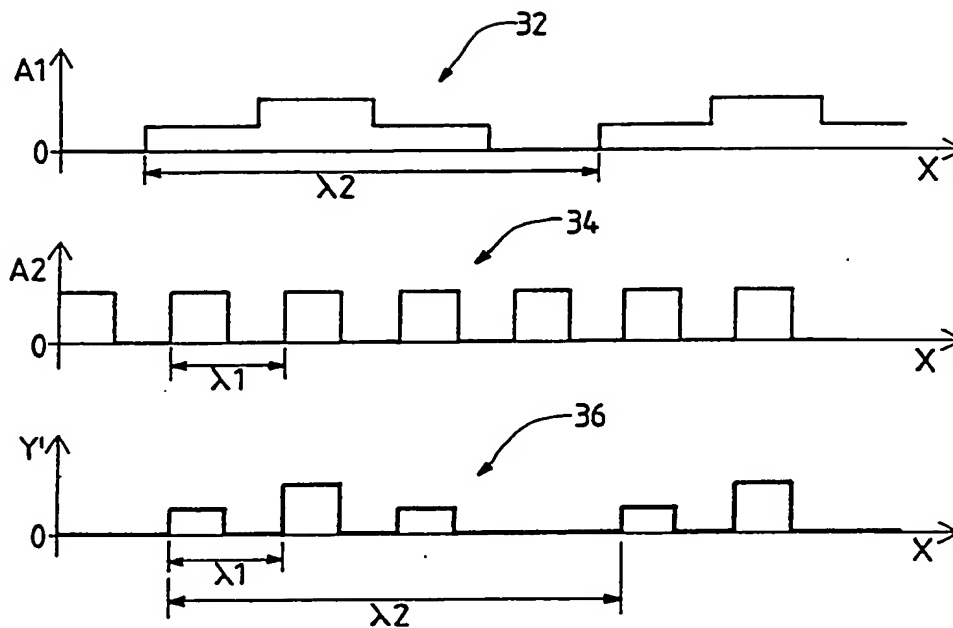


Fig.4

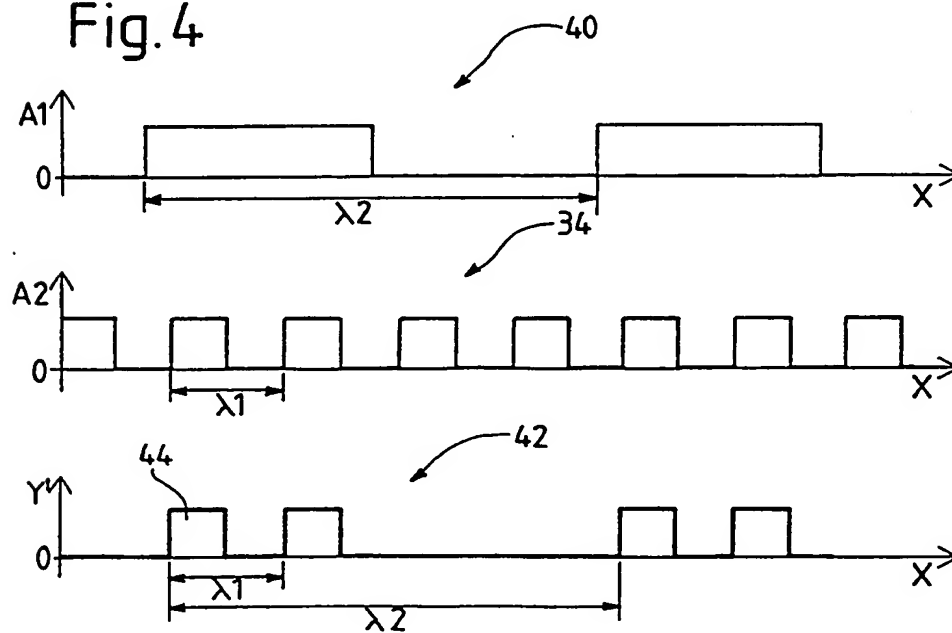


Fig.7

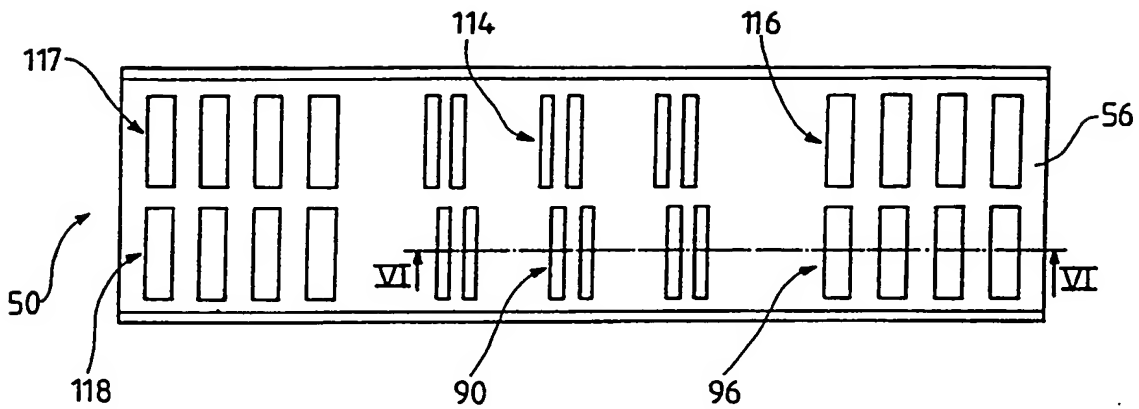


Fig. 8

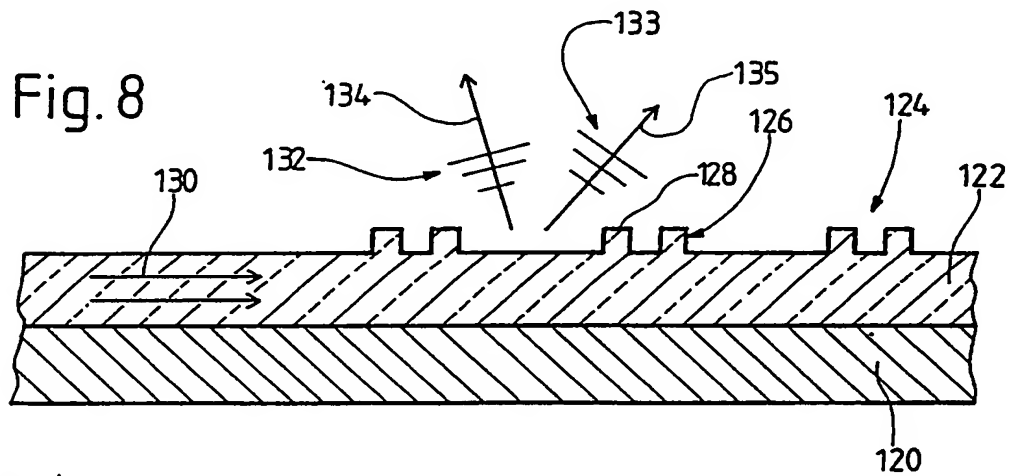


Fig.9

